

APORTACIONES DE LA NEUROCIENCIA AL APRENDIZAJE Y TRATAMIENTO EDUCATIVO DE LA LECTURA

Glimpses of neuroscience into learning and educational remediations in reading difficulties

Carmen LÓPEZ-ESCRIBANO
Universidad Complutense de Madrid

Fecha de aceptación definitiva: 15 de marzo de 2009
Biblid. [0214-3402 (2009) (II época) n.º 1; 47-78]

RESUMEN: Qué sucede en el cerebro durante la lectura y cómo la comprensión del cerebro puede informarnos sobre métodos educativos para enseñar a leer y remediar las dificultades de lectura son las principales cuestiones que examina este artículo. Los recientes avances en neurociencia están abriendo nuevas direcciones en el diagnóstico e intervención de las dificultades lectoras. Entre estos avances se encuentran la identificación temprana de potenciales problemas de lectura, a través de eficientes herramientas diagnósticas que pueden predecir con cierta fiabilidad resultados posteriores en la lectura; la intervención temprana dirigida hacia habilidades críticas del procesamiento lector; y la necesidad de estimular todas las funciones implicadas en la lectura. En la actualidad, también se han publicado diferentes estudios que han examinado si ciertos tratamientos educativos mejoran los mecanismos neuronales disfuncionales en niños con dificultades lectoras. Los resultados sugieren que determinadas intervenciones educativas normalizan ciertas regiones del cerebro asociadas al procesamiento fonológico. La investigación en neurociencia ha proporcionado resultados fascinantes sobre la función y el desarrollo del cerebro. A pesar del remarkable progreso, la investigación sobre el cerebro no se puede aplicar todavía con total seguridad a la educación. La combinación entre neurociencia y educación representa una nueva frontera en la ciencia, y tomará tiempo y esfuerzo desarrollar los fundamentos del conocimiento en este nuevo campo que une mente, cerebro y educación.

PALABRAS CLAVE: neurociencia, lectura, dificultades lectoras, cerebro y educación.

ABSTRACT: What happens in the brain during reading, and how can our understanding of the brain inform how we teach children to read, and help children who are struggling to learn to read, are the main questions of this paper. New directions in reading assessment and instruction are supported by recent advances in the neurosciences. Among these are early identification of potential reading problems through brief, efficient assessment of specific reading skills that predict later reading outcomes; early intervention that systematically targets critical reading processing

skills; and the necessity of stimulating all functions of reading. Besides, different studies have examined whether educational remediation ameliorates dysfunctional neural mechanisms in children with reading difficulties, the results suggest that specific educational interventions normalizes disrupted function in brain regions associated with phonological processing. Neuroscience has provided fascinating glimpses into the brain's development and function. Despite remarkable progress, brain research has not yet been successfully brought to bear in many fields of education. Combining neuroscience and education represents a new frontier in science; as such it will take time and diligence to develop our foundational knowledge in this new field of mind, brain, and education studies.

KEY WORDS: neuroscience, reading, reading disabilities, brain and education.

*A los niños con dificultades para leer,
ellos motivan cada día mi trabajo.*

LA LECTURA ES UN APRENDIZAJE RELATIVAMENTE NUEVO en la historia de la humanidad. Los primeros jeroglíficos fueron diseñados hace 5.000 años y los alfabetos fonéticos más antiguos tienen unos 3.500 años. En la antigüedad la lectura estaba reservada a las clases privilegiadas y a los monasterios, incluso en épocas relativamente recientes como la revolución industrial, las personas alfabetizadas se limitaban a un pequeño porcentaje de la población.

En la sociedad actual el lenguaje escrito es el medio principal de transmisión de la información. Las personas iletradas tienen grandes dificultades para moverse con soltura en nuestra sociedad y es casi inconcebible pensar que alguien no sabe leer en una sociedad donde la imagen y el texto se transmiten a velocidades vertiginosas.

La lectura es un ingenioso ejemplo de conectividad *intelectual* y *neuronal*, estas dos dimensiones que podríamos llamar *filosófica* y *fisiológica*, son raramente descritas juntas. Maryanne Wolf (2007) en su fascinante libro *Reading Lessons from Proust and the squid (Lecciones sobre la lectura de Proust y el calamar)*, utiliza al remarcable novelista francés Marcel Proust y al asustadizo calamar como metáforas para estas dos dimensiones de la lectura. Proust describió la lectura como un *santuario intelectual* capaz de transformarnos sin movernos un centímetro del lugar donde estamos. El calamar, a su vez, representa una metáfora de la dimensión fisiológica de la lectura. Los biólogos y neurocientíficos de todo el mundo utilizan en sus experimentos el *largo axón central* del calamar para comprender cómo las neuronas se conectan unas a otras, y en algunos casos para ver cómo se reparan y se compensan cuando algo no funciona bien.

La lectura es uno de los aprendizajes más complejos que las personas realizan; implica la interacción coordinada de sistemas cerebrales visuales, auditivos, motores, cognitivos y de lenguaje. Mientras que el lenguaje se desarrolla de forma innata con las influencias ambientales apropiadas, la lectura es un constructo cultural y debe ser explícitamente enseñada. Generalmente, son los maestros los encargados de la noble tarea de la enseñanza de la lectura. La lectura como cualquier otro aprendizaje humano se produce en el cerebro. Sin embargo, irónicamente los maestros reciben poca o ninguna preparación profesional sobre el cerebro y su funcionamiento.

Este texto está especialmente dirigido a los maestros y educadores con el objetivo de introducir los fundamentos teóricos de la neurociencia cognitiva y su aplicación a la enseñanza y el aprendizaje de la lectura. Este aprendizaje será más efectivo si se fundamenta en un marco teórico que integre neurología, psicología, educación y lingüística, que si meramente se basa en procedimientos sin fundamento alguno (Berninger y Richards, 2002).

Este capítulo está dividido en cinco secciones. En la primera, «Estructura del cerebro humano», se aportan conocimientos básicos sobre anatomía cerebral, el objetivo es entender con mayor precisión la implicación de diferentes estructuras cerebrales en la lectura. La segunda sección, «El desarrollo del cerebro humano», esboza cómo evoluciona nuestro cerebro desde la concepción hasta la edad adulta. Este conocimiento evolutivo del cerebro nos permitirá comprender la evolución del aprendizaje de la lectura y reflexionar sobre la edad ideal para iniciar este aprendizaje. La tercera sección, «Cómo se produce la lectura en el cerebro», está dedicada a explicar qué estructuras cerebrales participan en el aprendizaje de la lectura. Esta sección describe la complejidad que implica el aprendizaje de la lectura. La cuarta sección, «Estudio del cerebro con dificultades de lectura», explica qué sucede en el cerebro de una persona que tiene dificultades para leer. La quinta sección, «Aportaciones de la neurociencia al tratamiento educativo de la lectura», está dedicada a revisar las contribuciones de la neurociencia a la enseñanza y en concreto al aprendizaje de la lectura. Por último, la sexta sección, «Conclusiones finales», tiene como objetivo reflexionar sobre este conocimiento emergente.

Para el desarrollo de este texto he utilizado fundamentalmente dos manuales: Wolf (2007) y Berninger y Richards (2002). Estos manuales están avalados por el prestigio de sus autoras, son impecables, tanto en su calidad científica como en su estilo directo y claro, recomiendo su lectura a aquellas personas interesadas en ampliar sus conocimientos sobre este tema. También he fundamentado este trabajo en estudios y publicaciones sobre neurociencia y lectura, que mencionaré a lo largo de la exposición. Por último, este texto también recoge la experiencia y el aprendizaje que nos han proporcionado los niños que han participado en nuestros trabajos de investigación, ellos son siempre un impulso para seguir adelante.

I. Estructura del cerebro humano

La biografía de cualquier persona está teñida por sus lecturas, porque de algún modo somos lo que leemos.

Maryanne Wolf (2007)

La investigación moderna sobre la estructura del cerebro comienza a finales de los siglos XIX y principios del XX. La estructura del cerebro humano no puede ser descrita por simple observación de su apariencia física, que es gelatinosa y sin una estructura organizativa obvia. Inicialmente, tres desarrollos tecnológicos contribuyeron al conocimiento de la anatomía del cerebro. En primer lugar cabe destacar los métodos de laboratorio que permitieron transformar la materia gelatinosa del cerebro en tisú duro y fijo, de modo que éste pudiera cortarse en finas secciones para su estudio y análisis. En segundo lugar, hay que mencionar el desarrollo de técnicas de tinte, que, cuando se aplicaron a las delgadas secciones de tisú cerebral, revelaron

exquisitos e intrincados detalles sobre la anatomía del cerebro humano. Por último, la invención del microscopio permitió a los científicos examinar las finas secciones de tisú tinto y descubrir detalles adicionales sobre su estructura.

En este ámbito cabe destacar a uno de los hombres más ilustres de la medicina de todos los tiempos, Santiago Ramón y Cajal (1852-1934), que se dedicó al estudio de las conexiones de las células nerviosas, para lo cual desarrolló métodos de tinción propios, exclusivos para neuronas y nervios, que mejoraban los creados por Camillo Golgi. Gracias a ello logró demostrar que la neurona es el constituyente fundamental del tejido nervioso. Cajal consiguió el premio Nobel de Medicina en 1906 por descubrir los mecanismos que gobiernan la morfología y los procesos conectivos de las células nerviosas. Desde su más tierna infancia Cajal tuvo un natural impulso hacia la pintura y el dibujo, como adulto, mientras se convertía en el padre de la neurociencia moderna, realizó a mano numerosas y cuidadas ilustraciones sobre la estructura de nuestro cerebro, como la que se puede contemplar en la Figura 1.

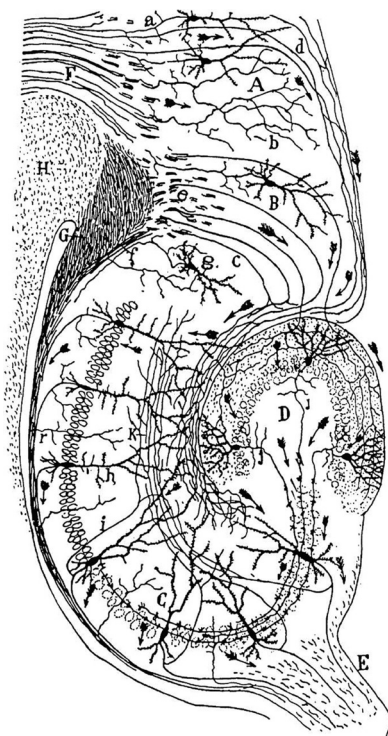


Figura 1. Dibujo de un circuito neuronal de Santiago Ramón y Cajal.
Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Ramon_y_Cajal¹.

¹ Las imágenes 1, 4, 5, 7, 8 y 10 están tomadas de la Wikipedia y son de dominio público. Para más información sobre las condiciones de uso de estas imágenes consultar la siguiente página web: http://en.wikipedia.org/wiki/Public_domain.

El estudio de la estructura cerebral incluye el nivel *microanatómico*: neuronas y células gliales, y el nivel *macroanatómico*: las diferentes áreas o sistemas que forman la arquitectura estructural de nuestro cerebro. Los estudios estructurales del cerebro permiten abrir una ventana tanto a la micro como a la macroestructura del mismo.

Microestructura del cerebro humano

El cerebro está constituido a nivel microanatómico por *neuronas* y *células gliales*. Las neuronas, dependiendo de su especialización, tienen diferentes formas y tamaños, a pesar de ello todas están compuestas de un *cuerpo celular* o *pericarion*, de múltiples ramificaciones cortas o *dendritas* y de una ramificación única y alargada conocida como *axón* o *neurita* (ver Figura 2).

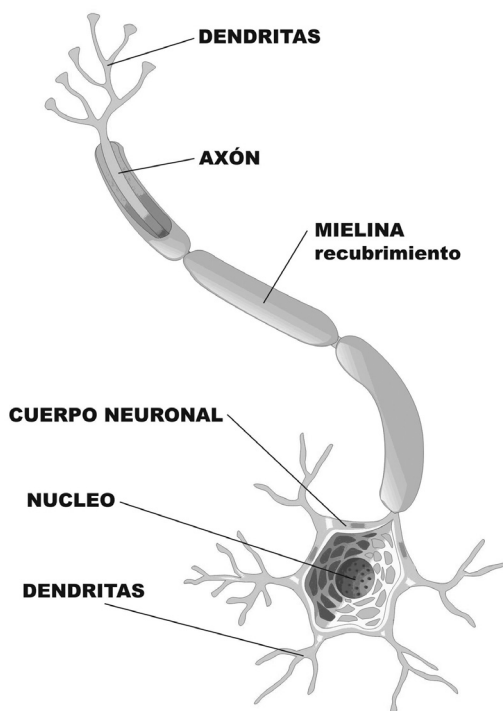


Figura 2. Estructura de una Neurona.
Fuente: <http://bancoimagenes.cnice.mec.es/>².

² Las imágenes 2 y 6 están tomadas del Banco de imágenes y sonidos del Ministerio de Educación y Ciencia. La utilización de estos recursos es universal, gratuita y abierta, siempre y cuando se trate de un uso educativo no comercial. Para más información sobre condiciones de uso consultar la siguiente página web: <http://bancoimagenes.cnice.mec.es/condiciones.html>.

Las dendritas contribuyen a incrementar la superficie externa de la célula con sus ramificaciones; las ramas terminales de otras neuronas terminan, a su vez, sobre ellas constituyendo por tanto el lugar de recepción de los impulsos nerviosos. El axón es el conductor de estos impulsos.

No todas las células del cerebro son neuronas. Las *células gliales* constituyen el almacén de revestimiento y sostén de las neuronas. Algunas células gliales se enrollan alrededor de la membrana celular formando una cobertura blanca denominada *vaina mielínica* o *mielina* (Figura 2). La mielina contribuye a aumentar la velocidad con que las células se comunican unas con otras.

Las neuronas se comunican unas con otras vía sinapsis. La sinapsis es un hecho comunicativo entre dos neuronas, una presináptica y otra postsináptica. Durante la sinapsis una señal eléctrica se convierte en una señal química, esta señal química se convierte de nuevo en una señal eléctrica en la neurona receptora. La sinapsis se produce mediante la liberación de neurotransmisores químicos que provocan la activación de receptores específicos. No se trata de un contacto directo, puesto que existe una separación infinitesimal entre las dos células. Para que la señal se envíe es imprescindible la conducción del impulso nervioso en los denominados botones terminales, que son las últimas estructuras de la ramificación y diversificación axónica de la neurona presináptica. Las sinapsis permiten a las neuronas formar una red de circuitos neuronales.

Esta actividad neuronal requiere energía. El cerebro utiliza glucosa para sus funciones energéticas, sin ella las células del cerebro morirían, esta glucosa es extraída de la sangre que riega el cerebro. Las mitocondrias en el *núcleo celular* absorben y metabolizan la glucosa, que impulsa el proceso de producción de la actividad eléctrica y química de las neuronas.

Mucho de lo que conocemos sobre la microestructura del cerebro está basado en animales simples, en los cuales los componentes de la neurona son visualizados con facilidad utilizando un microscopio; por ejemplo el calamar, citado anteriormente, ya que tiene un axón gigante.

Aunque el comportamiento se atribuye normalmente al nivel macroestructural, que describiremos posteriormente, no debe olvidarse que a las macrofunciones y grandes sistemas cerebrales subyacen acontecimientos neuronales a nivel celular y microestructural.

La comprensión de las estructuras y funciones cerebrales a nivel microestructural posibilitan la comprensión de cómo se adquiere la lectura en nuestro cerebro. El proceso de adquisición de la lectura probablemente depende de los cálculos llevados a cabo por una colección de neuronas individuales e implica cambios específicos en las conexiones neuronales del cerebro del aprendiz. Actualmente sabemos que las neuronas crean diferentes grupos y conexiones entre ellas cada vez que adquirimos una habilidad nueva. Los científicos de la computación utilizan el término *arquitectura abierta* para describir un sistema que es versátil y capaz de cambiar y transformarse para acomodarse a las demandas específicas que recaen sobre él. Dentro de las limitaciones de nuestro legado genético, nuestro cerebro presenta un extraordinario ejemplo de arquitectura abierta. La lectura puede ser aprendida gracias al diseño plástico del cerebro humano, cuando un individuo aprende a leer, su cerebro se transforma para siempre, tanto fisiológicamente como intelectualmente (Wolf, 2007).

El modo como se producen estos cambios específicos en las conexiones neuronales y como las neuronas se comunican funcionalmente unas con otras determinará el grado de aprendizaje y la adquisición de la técnica lectora. Por tanto, el aprendizaje de la lectura podría describirse como un proceso de cambio en las conexiones que se producen entre neuronas al comunicarse unas con otras. La lectura cambiará definitivamente nuestro cerebro creando conexiones y circuitos neuronales antes inexistentes (Berninger y Richards, 2002).

Técnicas para el estudio de la estructura cerebral

Como mencionamos anteriormente, los estudios sobre la estructura del cerebro fueron posibles gracias al desarrollo de técnicas químicas y a la invención del microscopio.

Aunque estas técnicas continúan estando vigentes, los grandes avances sobre la macroestructura cerebral han sido posibles gracias al desarrollo de técnicas de imagen cerebral que describiremos posteriormente.

Nuestros conocimientos sobre la *micro y macrofunción* cerebral están basados en muchos casos en experimentos con animales, como ratones, gatos o primates, a los cuales se les inserta diminutos electrodos en sus células cerebrales para grabar su actividad eléctrica en respuesta a un estímulo específico, o a veces son sacrificados para este fin. También se ha experimentado con pacientes antes de la neurocirugía, estimulando eléctricamente regiones específicas del cerebro para estudiar cómo este hecho influye o interrumpe determinadas funciones. Otro modo de investigación han sido las autopsias de personas que mueren por causas naturales y cuyo cerebro es donado a la ciencia para su estudio.

En el caso de la investigación con animales, se destruye a propósito una pequeña parte de tisú cerebral que previamente ha sido seleccionado y posteriormente se observan y anotan los cambios en el comportamiento; de este modo la pérdida de un comportamiento específico se correlaciona con la destrucción de una estructura cerebral determinada. Por ejemplo, el neurocientífico G. Rosen (2001) induce pequeñas lesiones a ratones en la corteza cerebral auditiva, similares a aquellas encontradas en algunos cerebros de personas con dislexia. Como resultado de estas lesiones se ha observado que los ratones no pueden procesar la información auditiva presentada rápidamente. En otras palabras, el modelo de investigación animal de Rosen muestra como ciertas anomalías en células localizadas en regiones importantes de la corteza cerebral pueden causar dificultades en el procesamiento eficiente de la información.

Otro modo tradicional de estudiar la estructura cerebral ha sido la neurocirugía ya que proporciona una oportunidad única para observar el cerebro humano en vivo y en directo. La preparación para la neurocirugía requiere la eliminación de una porción del cráneo, a través de esta apertura se puede observar el cerebro, un tisú gelatinoso de color rosado. El cerebro vivo no es duro ni gris. El color rosado se debe a una extensa red de vasos sanguíneos en su superficie. La sangre proporciona glucosa y oxígeno al cerebro, elementos necesarios para generar energía metabólica y estimular los procesos neuronales.

En los estudios post mórtem o de autopsias de cerebros humanos, los cambios en el comportamiento debidos a enfermedades, antes de la muerte, son correlacionados posteriormente con estructuras cerebrales que se encuentran dañadas en la

autopsia. Por ejemplo, un hombre de negocios francés muy aficionado a la música, llamémosle señor X, se despertó un buen día y descubrió que no era capaz de leer ni una sola palabra. El neurólogo francés J. J. Déjerine encontró que el señor X había perdido la habilidad de leer palabras, nombrar colores y leer notas musicales, a pesar de tener intacta su visión. Después de unos años el señor X sufrió un derrame cerebral que le imposibilitó totalmente la lectura y posteriormente le causó su muerte. La autopsia del señor X reveló daños en áreas diferenciadas del cerebro. Déjerine (1892) utilizó esta información y formuló una nueva teoría sobre la lectura y el cerebro. El derrame cerebral le había causado al señor X lesiones en el área visual izquierda de la corteza cerebral y en el giro angular. El caso de Déjerine de «alexia clásica» marcó el inicio real de la investigación sobre lectura y cerebro. Posteriormente, otros estudios post mórtem fueron realizados en los cerebros de 8 individuos que tenían un historial de problemas de lectura pero que no fallecieron a causa de lesiones relacionadas con el cerebro. Todos estos estudios implicaron un gran trabajo y costosos análisis a nivel microestructural y neuroanatómico. Drake (1968) estudió a un niño. Galaburda, Sherman, Rosen, Aboiz y Geschwind (1985) examinaron a 4 adultos o adolescentes. Humphreys, Kaufman y Galaburda (1990) analizaron a tres adultos. Conjuntamente, los resultados mostraron que una diferencia notable asociada a los problemas de lectura era que el plano temporal es simétrico en los individuos con dificultades lectoras. Como contraste, los individuos sin problemas de lectura muestran una asimetría izquierda (ver Figura 3), de modo que el plano izquierdo es mayor que el plano derecho.

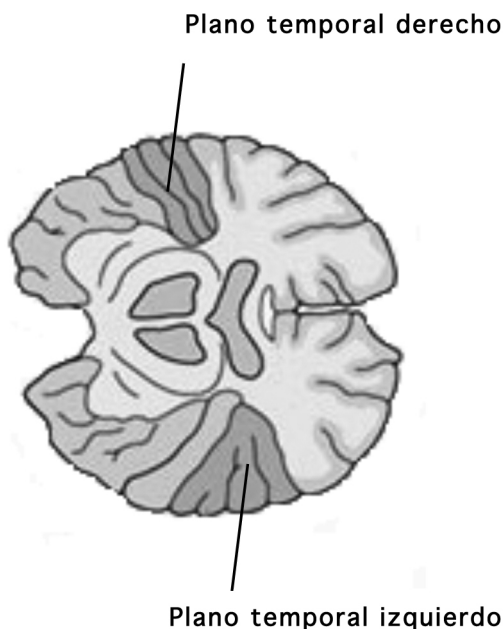


Figura 3. Corte transversal de un cerebro humano «normal» mostrando asimetría en la región del plano temporal (PT) entre los dos hemisferios.

Los citados estudios encontraron también a nivel microestructural un número de anomalías estructurales en las neuronas denominadas *displasias*, *ectopias* y *microgirias*. Estas anomalías microestructurales podrían ser debidas a errores ocurridos durante la migración neuronal producida tempranamente en la gestación (Galaburda *et al.*, 1985). Estas anomalías se encontraron en regiones temporales, parietales y frontales de la corteza cerebral mostrando variación entre los diferentes individuos. Estas anomalías podrían interferir en el aprendizaje de la lectura y probablemente podrían existir desde periodos tempranos de la gestación, pero su impacto en el desarrollo no se observa hasta más tarde cuando se espera que los niños aprendan a leer y escribir. Livingstone, Rosen, Drislane y Galaburda (1991) también encontraron anomalías en el sistema *magnocelular* de individuos con dislexia, este sistema es el responsable del procesamiento rápido de la información.

Las tres técnicas citadas anteriormente, a saber, el estudio con animales, neurociugía y estudios post mórtem han sido las herramientas más importantes para estudiar la relación entre cerebro-comportamiento hasta la última parte del siglo XX.

En la actualidad la invención de recientes avances tecnológicos ha revolucionado cómo se estudia la estructura y función cerebral especialmente a nivel macroestructural. Estas nuevas técnicas se utilizan no sólo para estudiar la arquitectura estructural del cerebro humano sino también para observar el *cerebro en funcionamiento*. Nos referimos a las técnicas de neuroimagen funcional.

Actualmente gran parte de la información sobre el cerebro en funcionamiento se consigue a través de diferentes técnicas de imagen cerebral, que pueden medir y rastrear la activación cerebral con gran precisión tanto espacial como temporal, mientras el cerebro realiza una tarea. Estas técnicas rastrean el cerebro humano de centímetro a centímetro y en periodos de tiempo tan breves como los milisegundos.

La neuroimagen se basa en la asunción de que cualquier tarea cognitiva, entre ellas la lectura, realiza demandas específicas en el cerebro. Estas demandas son llevadas a cabo a través de cambios en la actividad neuronal. El cerebro bombea más sangre para llevar a cabo esta demanda. Los métodos de neuroimagen cognitiva miden tanto cambios locales en el flujo sanguíneo (Tomografía por Emisión de Positrones o TEP, e Imagen de Resonancia Magnética Funcional o fMRI), como el extremadamente bajo voltaje de impulsos eléctricos (Electroencefalograma o EEG, y Potenciales Evocados o PEs) o campos magnéticos (Magnetoencefalografía o MEG) asociados con la actividad cerebral. En la Figura 4 se puede apreciar un equipo de fMRI.

La TEP funciona a través de la detección del cambio del flujo sanguíneo en diferentes regiones del cerebro durante la realización de tareas. Tiene una gran resolución espacial, sin embargo su resolución temporal es muy limitada y lejos del tiempo real de los procesos funcionales. Además es una tecnología *invasiva* ya que se necesita inyectar una sustancia radioactiva en la corriente sanguínea para poder monitorizar la activación cerebral, debido a que las regiones activas en el cerebro selectivamente atraerán estas sustancias radioactivas asociadas con el incremento y metabolismo del flujo sanguíneo. Por tanto, no es una técnica apropiada para ser utilizada con niños por el riesgo que puede conllevar la radioactividad en un cerebro en desarrollo. Debido a la invasividad de esta técnica, ya que implica radioactividad, otras técnicas como fMRI, EEG, PEs o MEG son más apropiadas especialmente para la investigación con niños.

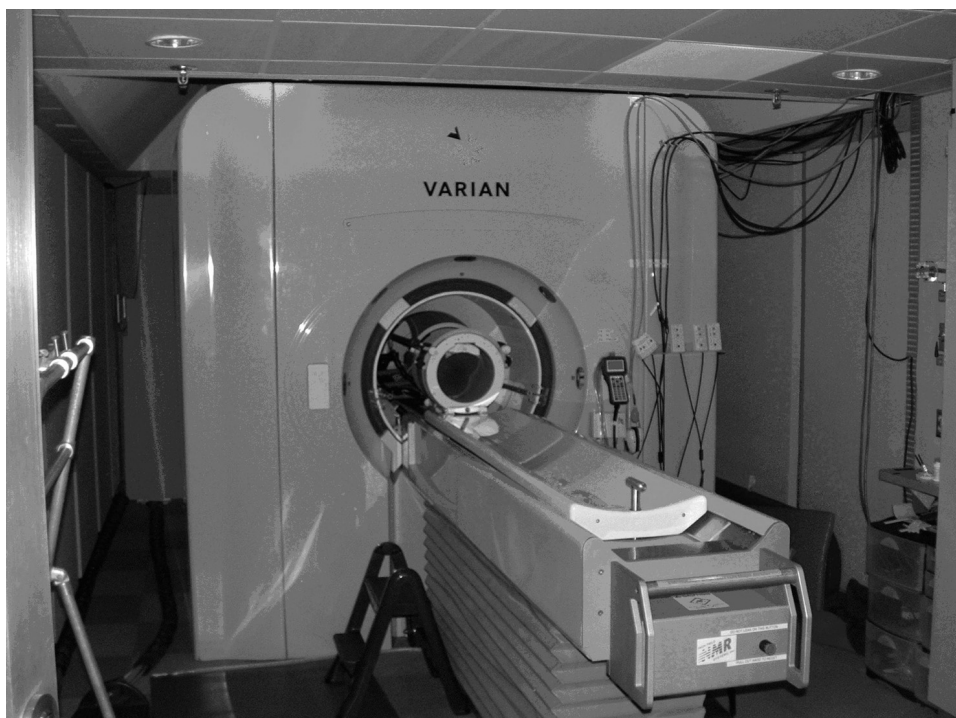


Figura 4. Equipo de Resonancia Magnética Funcional (fMRI).
Fuente: <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Varian4T.jpg>.

La fMRI al igual que la TEP también detecta cómo cambian los patrones de riego sanguíneo en diferentes regiones del cerebro mientras se realiza una tarea, pero en este caso se trata de una técnica no invasiva, por lo que es preferida para la investigación con niños. La razón por la que esta técnica puede mostrar cómo ocurre la activación cerebral es porque la actividad sináptica requiere aumentos locales del riego sanguíneo por la demanda de glucosa, oxígeno y nutrientes, los cuales son aportados por la sangre al cerebro. Esta técnica puede localizar el área activada del cerebro (Figura 5) con gran resolución espacial, sin embargo su resolución temporal es pobre.

El EEG, como contraste a las técnicas descritas anteriormente, registra las ondas cerebrales durante la actividad mental a través de electrodos (de 19 a 28) colocados en diferentes posiciones sobre el cuero cabelludo. Esta técnica genera un registro gráfico de la actividad eléctrica del cerebro en funcionamiento, y es una técnica no invasiva.

Los PEs proporcionan gran resolución temporal de la actividad cerebral que cambia rápidamente de una región cerebral a otra durante el procesamiento de la información. La desventaja de estas dos últimas técnicas (PEs y EEG) es que registran la actividad cerebral después de pasar por la estructura ósea del cráneo, esto hace que la señal eléctrica se debilite.

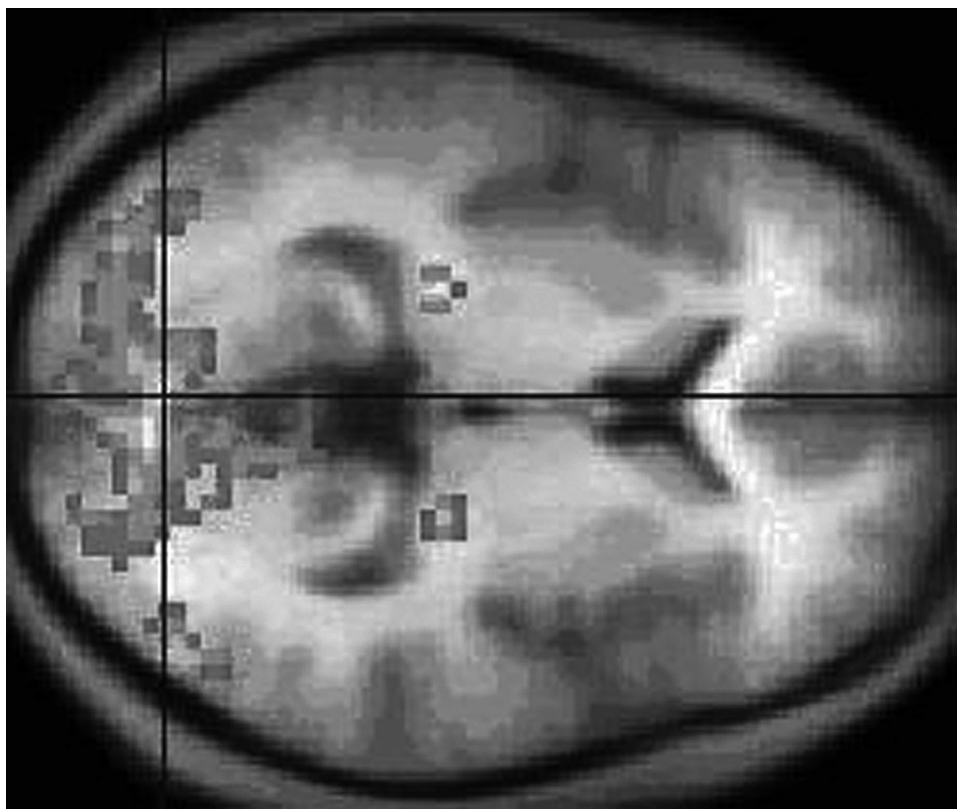


Figura 5. Imagen del cerebro obtenida con Resonancia Magnética Funcional (fMRI).
Fuente: <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:FMRI.jpg>.

Por último, la MEG registra la actividad magnética del cerebro en funcionamiento, su resolución espacial no es tan precisa como la de la fMRI, pero tiene una resolución temporal excelente. Un número elevado de detectores (> 100) muy sensibles a los campos magnéticos se sitúan alrededor de la cabeza de modo que los campos magnéticos de cualquier parte del cerebro pueden ser detectados y grabados. Es una técnica no invasiva y no es peligrosa ni arriesgada por lo que se puede utilizar con niños. Su uso no está todavía muy difundido porque es muy costosa económicamente.

En resumen, las técnicas fMRI, PEs, EEG y MEG son procedimientos no invasivos que pueden medir la actividad neurológica a través del cráneo y revelar el funcionamiento del cerebro mientras está realizando una tarea. La técnica PET es un procedimiento moderadamente invasivo que también puede realizar la tarea de explorar el cerebro en funcionamiento. Cada una de estas técnicas tiene sus ventajas e inconvenientes, y cada una facilita información diferente sobre la estructura y funcionamiento del cerebro. Por esta razón, y dada la naturaleza complementaria

de sus ventajas e inconvenientes, cuando se utilizan conjuntamente pueden proporcionar una imagen clara de la secuencia temporal y espacial de los patrones de activación del cerebro humano en funcionamiento.

Macroestructura del cerebro humano

El cerebro humano posee una estructura compleja que ha evolucionado significativamente si lo comparamos con el cerebro de los primates, nuestros parientes más cercanos en la historia evolutiva. El cerebro humano se ha expandido considerablemente formando una nueva estructura: la corteza cerebral. Los profundos pliegues del cerebro humano permiten que un gran número de células se acomoden en un espacio relativamente pequeño delimitado por el cráneo.

En la descripción de la macroestructura del cerebro humano comenzaremos haciendo un recorrido del cerebro desde abajo hacia arriba. La organización del cerebro desde este punto de vista tiene tres niveles específicos con especial significación funcional: (1) el nivel *medular*, (2) el nivel *encefálico bajo* y (3) el nivel *encefálico alto o cortical*. Estos niveles reflejan la dirección en la que los cerebros de los animales evolucionaron, y también reflejan, aproximadamente, el orden en el cual se desarrollan las estructuras cerebrales en el embrión humano. En la Figura 6 se pueden apreciar los tres diferentes niveles del cerebro humano.

A *nivel medular* nos encontramos con la médula espinal y el romboencéfalo. La médula espinal recibe señales sensoriales externas; estas señales pueden causar

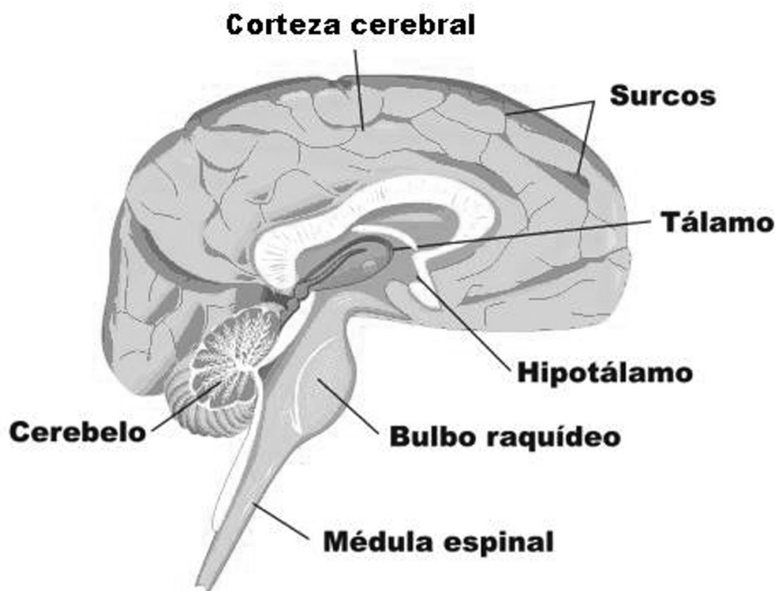


Figura 6. Corte sagital medio del cerebro humano.
Fuente: <http://bancoimagenes.cnice.mec.es/>.

respuestas motoras. Esencialmente todas las respuestas motoras de la médula son automáticas, y ocurren casi instantáneamente en respuesta a una señal sensorial. El romboencéfalo es una porción de encéfalo que rodea al cuarto ventrículo cerebral; lo integran mielencéfalo y metencéfalo. Se encuentra localizado en la parte inmediatamente superior de la médula espinal y está formado por tres estructuras: el bulbo, la protuberancia anular o puente de Variolo, y el cerebelo también llamado cerebro primitivo posterior. La función principal del cerebelo es integrar las vías sensitivas y motoras. Existe una gran cantidad de haces nerviosos que conectan el cerebelo con otras estructuras encefálicas y con la médula espinal. El cerebelo integra toda la información recibida para precisar y controlar las órdenes que la corteza cerebral manda al aparato locomotor a través de las vías motoras.

El *nivel encefálico bajo* contiene el tercer ventrículo, bulbo, mesencéfalo, hipotálamo, tálamo y ganglios basales. Gran parte de lo que llamamos actividad del subconsciente está controlada por estas estructuras del encéfalo. El control subconsciente de la presión arterial, de la respiración, del equilibrio, los movimientos coordinados para girar la cabeza, el cuerpo y los ojos están controlados por centros específicos localizados a este nivel. Muchas expresiones emocionales como el miedo, la excitación, las actividades sexuales, las reacciones de dolor o las reacciones de placer pueden observarse en animales que no tienen corteza cerebral. En resumen, las funciones subconscientes, pero coordinadas del cuerpo, como muchos de los procesos vitales, por ejemplo la presión arterial y la respiración, están controlados por las regiones inferiores del encéfalo, que generalmente operan por debajo del nivel consciente.

El *nivel encefálico alto o nivel cortical* es el nivel más alto y el más complejo, lo componen el sistema límbico, ganglios basales, los hemisferios cerebrales, la corteza cerebral y los ventrículos laterales. El nivel encefálico alto o cortical contiene numerosas estructuras que reciben y envían información a los niveles inferiores del cerebro.

La corteza cerebral o cortex es la capa más exterior del cerebro humano, podríamos compararla a una nuez. Las protuberancias de la nuez son similares a los *giros* cerebrales o circunvoluciones del cerebro; los giros (circunvoluciones) están separados unos de otros por *surcos*; las arrugas o valles más profundos entre los giros se llaman *fisuras*. Una fisura longitudinal larga separa el cerebro en dos hemisferios, y otras dos fisuras (la de Rolando o fisura central y la de Silvio o fisura lateral) dividen cada hemisferio en cuatro lóbulos distintos.

Los dos hemisferios cerebrales están conectados por debajo de la fisura longitudinal más grande por una banda de fibras, llamada cuerpo caloso, que permite la rápida comunicación entre ellos. Los cuatro lóbulos —frontal, temporal, parietal y occipital— (Figura 7) se encargan de tareas diferentes para varias funciones sensoriales y motoras. Cada lóbulo está dividido en regiones neuroanatómicas diferentes basadas en una estructura compuesta por varias capas de células.

Al igual que la costa marítima no es una línea recta, ni las montañas tienen todas la misma altura, la superficie del cerebro no es tampoco lisa ni recta, los límites no están perfectamente demarcados y una estructura es continua a la otra. Estos límites tienen las mismas características que los límites que se establecen geográficamente, es decir, se establecen arbitrariamente. De forma similar a los exploradores de la Tierra, los investigadores del cerebro han dado nombre a las

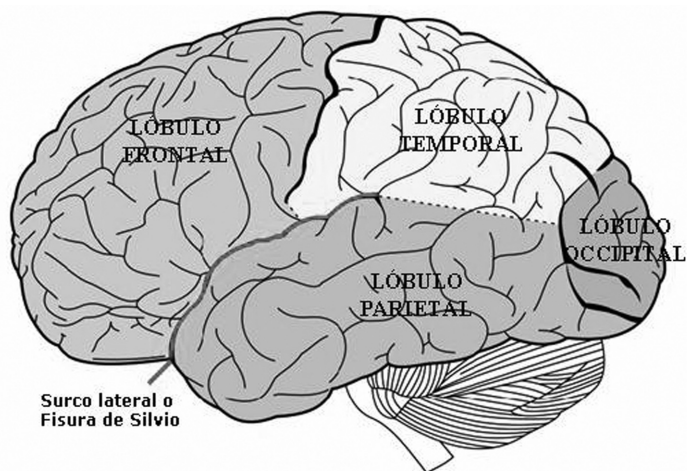


Figura 7. Lóbulos cerebrales.
Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Frontal_lobe.

diferentes regiones cerebrales en el mapa del cerebro que han ido construyendo. De este modo, el neuroanatomista alemán Korbinian Brodmann (1909) definió meticulosamente las áreas cerebrales basadas en la organización de las neuronas y estableció un sistema de 47 áreas en la corteza cerebral, este sistema de clasificación se utiliza actualmente con pequeñas modificaciones. De este modo, muchas áreas del cerebro relacionadas con el lenguaje son referidas no tanto por su nombre como por su número, utilizando la clasificación de Brodmann (ver Figura 8).

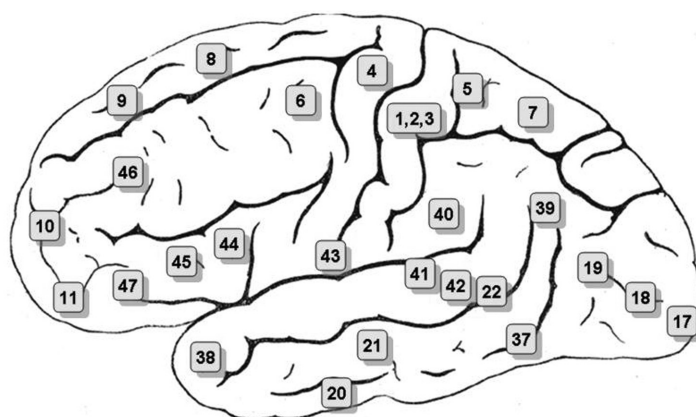


Figura 8. Superficie lateral del cerebro con las áreas de Brodmann numeradas.
Fuente: <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Gray726-Brodman.png>.

De lo dicho hasta ahora se desprende que muchos de los procesos intrínsecos al organismo humano, como respirar, moverse, etc., están controlados por regiones subcorticales del encéfalo o por la médula espinal. Mientras que la corteza cerebral constituye una zona amplia de almacenamiento de la información, es aquí donde se almacenan la mayor parte de los recuerdos de experiencias pasadas, y es aquí donde se conservan muchos de los tipos de respuesta motoras. Esta zona queda reservada para procesos más abstractos del pensamiento, pero también presenta uniones nerviosas directas con los núcleos profundos del encéfalo.

II. El desarrollo del cerebro humano

...después de hacerme leer la mayor parte de «Mis Primeras Lecturas»... en voz alta, descubrió que sabía leer y me miró con un perceptible disgusto. La señorita Caroline me dijo que le dijera a mi padre que no me enseñara más, o interferiría con mi lectura. Nunca aprendí deliberadamente a leer... Leer fue algo que simplemente me sucedió....

Harper Lee (Matar a un ruiseñor)

A continuación describimos los principios más importantes del desarrollo cerebral. Esta descripción está basada en la excelente síntesis sobre el desarrollo del cerebro de Berninger y Richards (2002).

Fertilización

El desarrollo del cerebro comienza en el momento de la concepción. El huevo fertilizado que contiene 23 cromosomas de cada padre comienza a dividirse.

Neurulación

El desarrollo del cerebro y del sistema nervioso comienza 19 días después de la fertilización del óvulo. Hacia el día 25, el tubo neural se cierra, primero en el centro, luego hacia la cabeza y luego al final. Los tres segmentos emergentes de este tubo corresponderán al romboencéfalo, cerebro medio y cerebro anterior. Los pliegues cerebrales son visibles en la semana 24 y aumentan a lo largo de la gestación. Para el nacimiento el cerebro pesará sobre 400 g, pero para la edad de 11 meses doblará su peso (1.100 g) y no encogerá hasta la edad de 30 años (100 g desde entonces hasta la edad de 75 años).

Seis procesos neurales conducen el desarrollo cerebral temprano:

(1) Proliferación celular. Entre la quinta y vigésima semana de embarazo de 50.000 a 100.000 nuevas células son generadas cada segundo; algunas son neuronas y otras células gliales. La mayoría de las neuronas están formadas hacia el cuarto mes de gestación. Para el nacimiento el niño posee prácticamente todas las neuronas, pero las células gliales continúan produciéndose, a un ritmo menor, a lo largo de toda la vida.

(2) Diferenciación celular. A pesar de que todas las neuronas poseen elementos comunes, todas no son iguales, su estructura depende de su función en el sistema nervioso central.

(3) Migración celular. Tan pronto como son generadas las neuronas comienzan a migrar. Pero el proceso de generación de neuronas finaliza antes que el proceso de migración. El proceso de migración sólo se ha completado hasta la mitad, cuando el proceso de generación de neuronas está ya completo del todo. Los códigos genéticos probablemente señalan dónde deben migrar diferentes tipos de neuronas en la arquitectura cerebral, pero el código genético no es el único factor que regula el proceso de migración. Como describimos anteriormente algunas anomalías microestructurales relacionadas con el aprendizaje de la lectura podrían ser debidas a errores ocurridos durante este proceso de migración neuronal que se producen tempranamente en la gestación (Galaburda *et al.*, 1985).

(4) Sinaptogénesis. El potencial de formar conexiones sinápticas en la corteza cerebral comienza hacia la séptima semana después de la concepción, pero continúa después del nacimiento, especialmente durante los dos primeros años de vida, pero probablemente durante toda la vida. La máxima densidad de sinapsis se da a los 10 años. Inicialmente se llegan a formar hasta un 40% más de conexiones sinápticas en el niño que en el adulto. Sin embargo, no todas ellas son funcionales relevantes. Por este motivo tiene lugar un proceso de poda, tras el cual sólo permanecerán las conexiones más eficientes en función de las demandas ambientales o, lo que es lo mismo, las conexiones que se utilizan se mantendrán, mientras que las que no se utilizan se eliminarán.

(5) Poda celular, no todas las neuronas nacen para sobrevivir. Como acabamos de describir inicialmente el cerebro está hiperconectado con demasiadas sinapsis. Esta hiperconexión no es eficiente energéticamente porque las sinapsis requieren energía metabólica. El podado celular comienza a los siete meses y continúa hasta la adolescencia, cuando el cerebro alcanza los niveles adultos de actividad metabólica eficiente. El podado ocurre en el cortex visual entre uno y diez años, y en los lóbulos frontales desde la edad de 7 años hasta la adolescencia.

(6) Mielinización. Los axones no mielinizados probablemente no pueden transmitir la información lo suficientemente rápido o requieren demasiada energía para realizar esta función. Los axones mielinizados pueden comunicarse entre sí con mayor rapidez formando circuitos neuronales eficientes y efectivos. Hacia el nacimiento la médula espinal y la base del cerebro están casi completamente mielinizadas. Este hecho asegura que las partes del cerebro necesarias para el mantenimiento de la vida son funcionales. Justo después del nacimiento, la mielinización comienza en el cerebro medio y el cerebelo, estas estructuras, como ya dijimos, juegan un importante papel en el aprendizaje sensorial, motor y regulación emocional tempranamente en el desarrollo. Sin embargo, las áreas cerebrales que regulan la conciencia, vigilancia, memoria y pensamiento (ej.: corteza cerebral, hipocampo, etc.) tardarán al menos 12 años más en completar su mielinización. Este proceso se prolonga desde la etapa preescolar hasta la adolescencia e incluso hasta la edad adulta temprana. Es por este motivo que los niños, por ejemplo, expresan sus emociones tempranamente en el desarrollo, pero tomará su tiempo hasta que sean capaces de controlarlas, ello se debe tanto a la maduración como al aprendizaje a través de la experiencia.

Los últimos tres procesos descritos anteriormente continúan después del nacimiento. Sin embargo, la experiencia comienza a influir ya en el crecimiento del cerebro durante la gestación y juega un papel muy importante después del nacimiento. El cerebro alcanza su peso adulto alrededor de la edad de 14 años. La

mayoría del crecimiento después del nacimiento es atribuido a la mielinización (parcialmente regulada tanto por procesos genéticos como por la influencia ambiental) y al crecimiento dendrítico (que está bajo control genético pero también responde a la experiencia).

La mayoría de los desarrollos en el cerebro se realizan de abajo hacia arriba, de derecha a izquierda y de la parte posterior a la frontal. Los lóbulos frontales son las últimas áreas en desarrollarse, su desarrollo continúa hasta la edad adulta temprana (20 años). De este modo las funciones ejecutivas y reguladoras como la inhibición, manejo de conflictos, fijación de objetivos, persistencia en la tarea, autorregulación y monitorización, localizadas en el cortex prefrontal, son las funciones que se consiguen más tarde en el desarrollo.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que el desarrollo de los procesos cognitivos no depende únicamente de la maduración de las regiones cerebrales específicas, sino también de la maduración de las conexiones entre ellas. Para que los distintos circuitos neuronales se integren en un único sistema cognitivo es necesario que estén bien comunicados. Un fenómeno clave para que esa comunicación sea óptima es la mielinización de los axones. La mielinización consiste en la formación de vainas de mielina alrededor de los axones, que tiene como función incrementar la velocidad de transmisión de los impulsos eléctricos.

Los seis procesos descritos están regulados en parte por los genes pero también por la experiencia ambiental. Esta secuencia en el desarrollo cerebral y de habilidades es muy similar a través de las diferentes culturas. Sin embargo, la experiencia específica de cada sujeto, es decir, cómo interactúa el cerebro en un ambiente determinado, influye en qué sinapsis son activadas y cuáles son eliminadas. La función de las neuronas es interactuar con el entorno, recibir la información que éste les envía, pensar sobre esta información y actuar sobre ella. Las experiencias ambientales modifican nuestro cerebro. De este modo el desarrollo depende de los genes y neuronas en el cerebro pero también de las experiencias de aprendizaje del cerebro al interactuar con el ambiente físico y con otros cerebros en nuestro entorno social y cultural. Los circuitos neuronales son necesarios, pero no suficientes, para crear un cerebro lector, el encuentro con *el otro* y con el *medio social* es clave, además este encuentro nos definirá como personas (López Herrerías, 2005).

Ciertas funciones parecen tener periodos críticos de desarrollo, es decir, periodos en el desarrollo durante los cuales es más fácil aprenderlas y después de los cuales probablemente no serán aprendidas o serán aprendidas sólo con gran dificultad. La privación ambiental y falta de experiencias apropiadas durante el desarrollo puede tener, por tanto, efectos muy nocivos en el desarrollo del sistema nervioso central. Por ejemplo, la visión es muy maleable hasta los dos años de edad pero mucho menos hasta los 8 ó 9, cuando el cableado cerebral está bastamente terminado. El periodo crítico para el aprendizaje de una primera lengua es hasta los 6 ó 7 años, pero las primeras lenguas son aprendidas con mayor facilidad a los 3 ó 4 años, y las segundas lenguas son más difíciles de aprender después de la pubertad.

Estos hallazgos son interesantes para los educadores, ya que sugieren que aunque la ventana de desarrollo para los sistemas motores y sensoriales puede llegar a su pico durante la etapa de la educación infantil, la ventana de desarrollo de la actividad cortical es ampliamente maleable durante la niñez y adolescencia, alcanzando su pico durante la educación formal. Por tanto, los adultos que rodean al

niño en los diferentes contextos, familia y escuela, durante estas etapas, pueden suponer una gran diferencia a la hora de *esculpir* el cerebro para que llegue a ser capaz de realizar habilidades de orden superior. Si el niño no recibe suficiente estimulación de su entorno, durante estas etapas, su cerebro no desarrollará las conexiones necesarias para realizar habilidades superiores.

Si nos basamos en la maduración cerebral podríamos decir que la edad ideal para el aprendizaje de la lectura depende de la habilidad del cerebro para conectar e integrar diferentes fuentes de información, específicamente, visual y auditiva, lingüística y conceptual. Esta integración está ligada a la maduración de cada una de estas áreas en el cerebro y a la velocidad con que cada una de ellas puede conectarse con las otras. Esta velocidad, como hemos visto anteriormente, depende de la mielinización de los axones en las neuronas. El curso de desarrollo de la mielinización difiere de un área a otra del cerebro (por ejemplo, los nervios auditivos y visuales se mielinizan antes de los seis meses de vida). Aunque cada una de las regiones cerebrales motoras y sensoriales se mielinizan y funcionan independientemente antes de los cinco años de edad, las principales regiones del cerebro responsables de la habilidad para *integrar* la información visual, auditiva y verbal con rapidez, como el *giro angular*, no están completamente mielinizadas hasta la edad de cinco años y a veces un poco después (Wolf, 2007). Esto quiere decir que muchos niños no están preparados para aprender a leer antes de los cuatro o cinco años de edad.

Es muy importante comprender que existe una gran diferencia individual entre los cerebros humanos. Hay una asombrosa variación en el tamaño de diferentes estructuras cerebrales y en el número de neuronas que diferentes cerebros utilizan para procesar funciones idénticas, incluso entre gemelos genéticamente iguales. Esto quiere decir que algunos niños pueden leer antes de la edad esperada, como por ejemplo el personaje Scout del libro *Matar a un ruiseñor* (Harper Lee, 1960), cuya cita aparece al comienzo de esta sección. En esta cita, podemos apreciar como la nueva profesora de Scout se siente horrorizada por la habilidad precoz de ésta para leer. Conviene recordar a los maestros que en estos casos lo mejor es dejar que los niños lean e incluso fomentar la lectura, para no *matar* la motivación inicial hacia este aprendizaje.

Aunque como hemos visto no es adecuado anticipar la enseñanza de la lectura a la maduración de las estructuras cerebrales necesarias (cuatro o cinco años de edad), esto no quiere decir que los educadores deban esperar hasta esta edad para realizar actividades que estimulen los circuitos cerebrales lectores. Porque como se ha demostrado la estimulación temprana y las actividades adecuadas, especialmente para los niños con dificultades lectoras, son más beneficiosas que simplemente esperar a que las estructuras cerebrales maduren sin realizar ningún tipo de estimulación (Wolf, 2007).

Nuestra experiencia de trabajo con niños con dislexia y niños de etnia gitana que sufren dificultades lectoras (López-Escribano, 2007b; López-Escribano y Beltrán, en prensa), por diferentes motivos, nos ha permitido comprobar que retrasar el aprendizaje de la lectura, e incluso retrasar a los niños de curso, con el objetivo de esperar a que sus estructuras cerebrales estén suficientemente maduras para adquirir la lectura, no ha dado buenos resultados, ya que estos niños cada vez se quedan más retrasados con respecto a sus compañeros y su autoconcepto y autoestima se resienten como consecuencia de esta práctica.

Al comienzo del siglo XX Gesell (1926, 1928) popularizó la idea nativista de que el comportamiento está genéticamente determinado. Los nativistas creen que (a) el aprendizaje está determinado por la programación biológica, y (b) que la instrucción y la práctica no pueden alterar esta programación. Desafortunadamente, esta visión nativista, como Berninger y Richards apuntan en su libro, no ha sido apoyada por los hallazgos neurocientíficos de finales del siglo XX. Desafortunadamente sigue siendo una idea muy difundida en conferencias y congresos dirigidos a profesores de educación infantil. La visión nativista de Gesell estaba más centrada en el desarrollo motor que en el desarrollo de la alfabetización. Sin embargo, descubrimientos recientes demuestran que tanto el desarrollo motor como la adquisición de la lectura se benefician de la práctica y estimulación tempranas. El reto es proporcionar suficiente instrucción y práctica durante el proceso de maduración, y no asumir que la habilidad se desarrollará en base a la maduración sin la experiencia adecuada.

Antes de la edad de cinco años y de comenzar la lectura formal, se debería estimular a los niños con actividades apropiadas para su nivel de desarrollo, que faciliten la lectura posterior. Como, por ejemplo, escuchar y recitar poesías, jugar con trabalenguas y rimas, escuchar historias y cuentos, estimular la conciencia fonológica, aprender a identificar su nombre y las letras, e incluso permitir que experimenten a escribir sus primeras letras, aunque inicialmente se trate más de un dibujo que de un concepto.

Los estudios sobre maduración cerebral también sugieren que el diagnóstico temprano y la intervención en dificultades de lectura serán más efectivos durante la niñez temprana porque no existirá la interferencia emocional debida al fracaso escolar crónico. A la vez que será más fácil crear conexiones entre los sistemas funcionales del cerebro para el lenguaje oral y la lectoescritura alrededor de los 6 años, periodo crítico para el aprendizaje de estas técnicas.

Aunque puedan existir periodos sensibles para la adquisición de la lengua y la lectura, esto no significa, dada la gran plasticidad del cerebro humano, que los adultos no puedan adquirir estas competencias más tarde en la vida.

Por último, debido a que la lectura es una habilidad *clave* en la educación formal y para el desarrollo de las habilidades de pensamiento superior, es importante asegurarse de que llega a ser funcional tempranamente en la escolaridad.

III. Cómo se produce la lectura en el cerebro

Nuestro cerebro no fue creado para leer, a diferencia de la visión y el lenguaje, que están genéticamente programados, la lectura no está programada para ser transmitida a generaciones futuras.

Maryanne Wolf (2007)

Los recientes estudios de imagen cerebral han comenzado a describir la organización del cerebro durante la lectura, específicamente la identificación y localización de sistemas neuronales que se utilizan para leer, también han producido resultados sobre las diferencias entre lectores competentes y disléxicos.

De forma diferente al lenguaje oral, que se aprende de modo natural desde la infancia, la lectura es adquirida a una edad más tardía que el lenguaje, a través de

la instrucción y esfuerzo. La lectura requiere de múltiples áreas del cerebro trabajando conjuntamente a través de una intrincada red de neuronas. No existe una región específica del cerebro dedicada a la lectura. El sistema lector se construye o se crea sobre estructuras cerebrales previas, otros sistemas cerebrales trabajan conjuntamente de manera cooperativa para crear un nuevo sistema funcional y configurar una nueva función: la lectura.

La lectura es un proceso complejo en el que intervienen numerosos factores: la percepción y discriminación de formas y sonidos; la asociación de sonidos con la apariencia física de las letras, y significados con grupos de palabras; la atención, memoria y factores visuales y motores. Dada la complejidad de esta tarea las regiones del cerebro implicadas en la lectura son previsiblemente muy diversas. Participan en esta tarea sistemas cerebrales sensoriales, motores, de lenguaje, cognición, memoria, atención y control ejecutivo. Por ello muchas disfunciones cerebrales pueden interferir con el complejo proceso de aprendizaje de esta habilidad y no resulta sorprendente que un alto porcentaje de estudiantes presente dificultades significativas en el aprendizaje lector.

Esta remodelación o adaptación de sistemas cerebrales que trabajan conjuntamente no se crea instantáneamente, se desarrolla con el tiempo, desde los primeros contactos con las letras, hasta la adquisición de la lectura experta. De hecho los procesos corticales en la lectura no son los mismos en el lector principiante que en el lector experto.

El desarrollo de la lectura está marcado por la coordinación de componentes implicados en el conocimiento de las palabras: ortográfico, fonológico y semántico, estos componentes se configuran en un sistema funcional integrado en las estructuras corticales.

La investigación con técnicas de neuroimagen cerebral facilita una visión clara de este sistema funcional o circuito lector que se desarrolla con el aprendizaje de la lectura.

Este circuito incluiría tres áreas cerebrales principales, situadas en el hemisferio izquierdo, desde la parte posterior hacia la anterior encontramos (a) un área ventral (occipito-temporal), (b) un área dorsal (un área tempo-parietal, que básicamente corresponde al área de Wernicke), y (c) un área izquierda frontal (el área de Broca, el giro inferior frontal y el cortex insular). Estas tres regiones o áreas están implicadas en funciones críticas de la lectura: procesos visuales-ortográficos en la región ventral; decodificación fonológica en la región dorsal; y tanto procesos articulatorios-fonológicos como semánticos en la región frontal (Perfetti y Bolger, 2004). Los lectores se pueden referir a la Figura 9 para visualizar las estructuras mencionadas.

Los estudios de neuroimagen han producido muchos más resultados e información sobre la lectura de palabras que sobre la comprensión de frases y textos. La complejidad de la lectura, más allá de la lectura aislada de palabras, presenta un reto a los estudios cerebrales de imagen funcional tanto como a la investigación educativa y psicológica. Es más sencillo investigar sobre las dificultades de decodificación fonológica en la lectura de palabras que sobre la comprensión lectora, pero incluso en este campo se están experimentando notables progresos en neuroimagen cerebral (Caplan, 2004).

La investigación sobre cómo el cerebro procesa la lectura ha progresado impresionantemente y se ha unido a los avances de la investigación educativa y psicológica para reforzar la ciencia de la lectura.

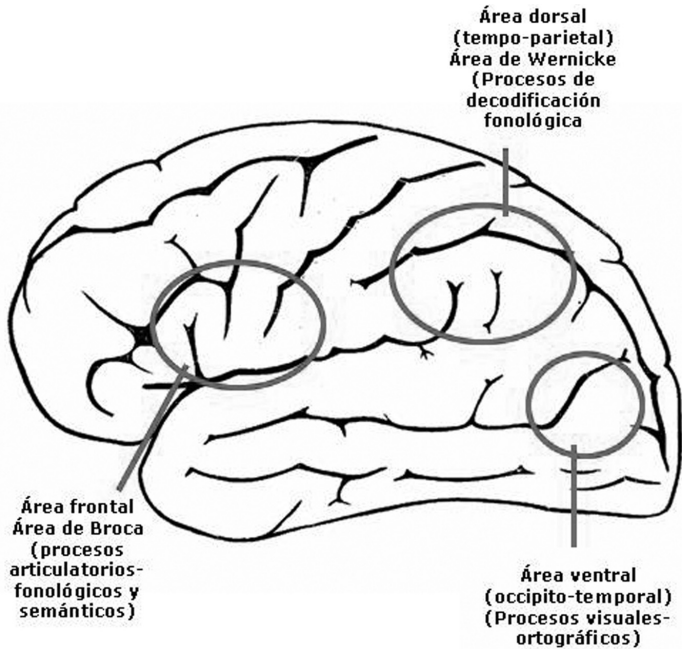


Figura 9. Áreas lectoras del cerebro.

IV. Estudio del cerebro con dificultades de lectura

El amor por la lectura es algo que se aprende pero no se enseña. De la misma forma que nadie puede obligarnos a enamorarnos, nadie puede obligarnos a amar un libro. Son cosas que ocurren por razones misteriosas, pero de lo que sí estoy convencido es que a cada uno de nosotros hay un libro que nos espera. En algún lugar de la biblioteca hay una página que ha sido escrita para nosotros.

Alberto Manguel (El País, 2007)

Hace treinta años que el investigador Frank Vellutino (1979) rebatió la hipótesis de que la dislexia era un desorden visual y apuntó más bien hacia una hipótesis fundamentada en las bases del lenguaje. En la actualidad esta hipótesis ha sido refinada en la hipótesis del «déficit fonológico» de la dislexia y ha llegado a ser la hipótesis dominante en este campo.

Debido a ello la investigación en neuroimagen se ha centrado fundamentalmente en el estudio de los correlatos neuronales de las *dificultades fonológicas* en la lectura.

La imagen cerebral que presentan estos estudios de neuroimagen basados en el déficit fonológico y realizados con personas que padecen dislexia es una *hipoactividad* en las regiones dorsales y ventrales izquierdas en el circuito lector. Si revisamos la Figura 9, podríamos decir que las personas con dislexia presentan menos activación, o incluso no presentan activación, en áreas dorsales y ventrales izquierdas.

Otra idea importante en estos estudios es la de *compensación*. Si un mecanismo o conocimiento es deficiente, otros sistemas se verán más implicados para compensar esta deficiencia. En el caso del déficit fonológico, por ejemplo, un aumento de la dependencia en las pistas semánticas para apoyar la lectura de palabras da como resultado una compensación, que en neuroimagen resulta en una hiperactivación en áreas frontales y en áreas del hemisferio derecho que no se activan en lectores sin problemas.

Los estudios de neuroimagen muestran que los niños y adultos con dislexia se distinguen de los lectores competentes, no sólo por una hipoactivación en áreas tempo-parietales del hemisferio izquierdo, sino también porque muestran una activación que es atípica en los lectores competentes, en el hemisferio derecho.

Los estudios de imagen cerebral sobre la dislexia son relativamente recientes, los sistemas neuronales implicados en la dificultad lectora fueron propuestos por primera vez hace aproximadamente un siglo, en un estudio basado en la autopsia de una persona adulta que había sufrido un derrame cerebral con subsiguiente alexia adquirida (caso Déjerine comentado anteriormente). Este estudio fue seguido posteriormente de otros, como los realizados por Al Galaburda y su equipo, a los que también nos hemos referido anteriormente. Todos estos estudios neuropatológicos reportaron lesiones en regiones posteriores del hemisferio izquierdo. Estos resultados han sido confirmados de nuevo por los nuevos estudios de imagen funcional del cerebro, que dan como resultado una *hipoactivación cerebral* en estas áreas posteriores del hemisferio izquierdo, teóricamente *lesionadas* en los estudios post mórtem realizados hasta la fecha.

Los estudios de neuroimagen funcional del cerebro han descrito principalmente anomalías en la región 37 (ver Figura 4) en el hemisferio izquierdo en las personas con dislexia. Sin embargo, actualmente se sabe que la patofisiología asociada a la dislexia es más compleja. Eden y Moats (2002) en sus estudios anatómicos muestran anomalías en ambos hemisferios del cerebro. De modo similar, los estudios genéticos sobre dislexia sugieren la implicación de múltiples genes. Estos estudios muestran que diferentes regiones del genoma humano están implicadas en un número de procesos diversos relacionados con la lectura. La naturaleza *multigenética* de la dislexia podría ser una explicación de la heterogeneidad observada entre las personas que padecen esta dificultad lectora y de su coexistencia con desordenes de atención.

V. Aportaciones de la neurociencia al tratamiento educativo de la lectura

Yo era un pequeño adulto, me crió mi nodriza, con la que aprendí el inglés y el alemán, mis dos lenguas maternas, y ella, que no tenía muy claro lo que era un niño, ponía libros a mi disposición y una vez a la semana me llevaba a comprar uno. Pero el apasionamiento por ellos era cosa mía, enseguida reconocí que los libros eran una forma de abrirme al mundo. Pasé la infancia de país en país, y volver cada noche a mis libros era una forma de volver a lo conocido.

Alberto Manguel (El País, 2007)

Tanto educadores como neurocientíficos están interesados en el aprendizaje y en cómo optimizarlo. Los neurocientíficos investigan los procesos por los cuales el cerebro aprende y recuerda, desde el nivel celular (microestructura) hasta los sistemas cerebrales (macroestructura).

El aprendizaje, desde este punto de vista, implica esencialmente cambios en la conectividad neuronal, la liberación de neurotransmisores durante la sinapsis puede ser alterada, o las conexiones entre neuronas pueden ser fortalecidas o eliminadas, gracias al aprendizaje y a la experiencia. De este modo, el aprendizaje que se realiza de un modo exitoso afecta directamente a la función cerebral cambiando la conectividad neuronal (Goswami, 2004).

Los circuitos neuronales son necesarios, pero no suficientes, para crear un cerebro lector. Diferentes tipos de experiencias ofrecidas por el ambiente son fundamentales para conectar los circuitos neuronales y hacer que sean funcionales. Del mismo modo, los circuitos neuronales utilizados para la lectura también se desarrollan en interacción con la estimulación ambiental.

Berninger y Richards (2002) describen un conjunto de prácticas educativas, fundamentadas en la teoría sobre neurodesarrollo, que se deben ir ofreciendo al niño según avanza paulatinamente en su aprendizaje de la lectura. Estas prácticas se resumen a continuación.

Las raíces de la alfabetización comienzan mucho antes de la escolarización formal. Los bebés de 6 a 8 meses son ya capaces de procesar todos los fonemas posibles del lenguaje (Moats, 2004). Los programas de estimulación temprana para la lectura podrían comenzar hacia los 18 meses cuando las dendritas están proliferando en el hemisferio izquierdo y el lenguaje expresivo comienza a emerger. A esta edad es muy importante *conversar* con los niños y *leerles* cuentos aunque todavía no sean capaces de expresarse. Antes de que los bebés puedan articular respuesta alguna, es de vital importancia estimular el lenguaje porque los sistemas corticales posteriores para la comprensión del lenguaje se desarrollan más rápido que los sistemas frontales para la producción del mismo.

Los adultos y los niños mayores actúan como modelos del lenguaje para los bebés; el habla de los adultos es un estímulo para que el cerebro de los pequeños aprenda el lenguaje oral. Del mismo modo los niños más pequeños se benefician cuando los adultos o niños más mayores les leen cuentos o historias. Algunos niños han escuchado una gran variedad de cuentos en su hogar, otros, sin embargo, no han tenido tanta suerte, esto no significa necesariamente que no vayan a aprender a leer, ya que su cerebro a la entrada del colegio, como comentamos más arriba, se está preparando para poder realizar esta función. Sin embargo, no cabe ninguna duda de que los niños menos favorecidos socialmente estarán en desventaja a la hora de enfrentarse a la lectura y a otras tareas escolares.

Los escolares con un desarrollo normal conocen al menos 5.000 palabras del vocabulario básico antes de comenzar el primer curso. Los niños que viven en entornos sociales desfavorecidos reciben menos interacción verbal y su vocabulario generalmente es más pobre. En estos casos el colegio debe actuar como un sistema de compensación de estas desigualdades, ofreciendo lecturas y narraciones a aquellos niños que no hayan disfrutado de esta experiencia en sus hogares.

Los niños con riesgo de sufrir dificultades lectoras deberían ser diagnosticados durante la etapa de educación infantil, antes de que experimenten daños emocionales y su autoestima se resienta. En la actualidad existen indicadores fiables para diagnosticar a niños con riesgo de sufrir dificultades de lectura durante la etapa de educación infantil y primer curso. Normalmente, estos escolares presentan retrasos en la adquisición del vocabulario, no conocen las letras y sus habilidades de conciencia fonológica y denominación rápida de letras son deficientes si

las comparamos con las de sus compañeros de clase (López-Escribano *et al.*, en prensa). Si estos niños no reciben la estimulación y el tratamiento adecuado es muy probable que experimenten dificultades lectoras más tarde. Los resultados de la intervención temprana durante educación infantil y primer curso serán mejores que el tratamiento más tardío, cuando las dificultades de lectura están ya plenamente instaladas. La intervención en educación infantil y en primer curso, comparada con la intervención en tercero o cuarto curso, toma menos tiempo, tiene más beneficios a largo plazo y puede prevenir problemas secundarios graves, como son los problemas emocionales y de autoestima. Las herramientas de *screening* o *exploración* deberían ser utilizadas en todas las escuelas de educación infantil para identificar y *tratar tempranamente* a los niños con riesgo de sufrir dificultades lectoras (López-Escribano y Beltrán, en prensa).

Durante la etapa de educación infantil el desarrollo de la *conciencia lingüística* es de suma importancia ya que los ejercicios para el desarrollo de esta habilidad hacen posible que el niño sea consciente de los sonidos del lenguaje. Muchos años de investigación han mostrado que la mayoría del conocimiento sobre el lenguaje es implícito y sólo llega a ser objeto del pensamiento cuando se presenta explícitamente como un tema de atención y reflexión. También se debería estimular la *conciencia semántica* haciendo que los aprendices reflexionen sobre el significado de las palabras. A un nivel más avanzado se puede enseñar a los alumnos las transformaciones morfológicas de las palabras: *conciencia morfológica*. El vocabulario para las áreas específicas del currículum debería enseñarse en todas las etapas del desarrollo lector.

La familiaridad de los niños con los nombres de las letras del alfabeto, la exposición al lenguaje y a las convenciones del material impreso y el contacto con las palabras experimentado a través de la lectura de cuentos deberían ser objetivos tanto de las familias, como de las escuelas infantiles y de la pediatría, ya que todas estas actividades prepararán al niño para la lectura formal.

Es importante al enseñar las letras y las palabras crear *múltiples conexiones*, porque las diferentes formas de las palabras (ortográfica, fonológica y semántica/morfológica) están en áreas separadas del cerebro (ver Figura 9) pero parcialmente superpuestas e interconectadas entre sí, generalmente distribuidas en el hemisferio izquierdo de la corteza cerebral. Los niños que al aprender a leer reciben conexiones redundantes entre las palabras (fonológicas, ortográficas, morfológicas y semánticas) serán mejores lectores.

Es importante que las conexiones entre las palabras sean *visibles y explícitas* de diferentes modos. La primera pista para hacer estas conexiones visibles y explícitas entre representaciones ortográficas y fonológicas es nombrar las letras. La denominación rápida de las letras indicará que las conexiones entre el código ortográfico (letra) y el código fonológico (sonido) se ha hecho automático. De hecho nombrar las letras y la denominación rápida de letras son buenos precursores de la lectura en español (López-Escribano *et al.*, en prensa).

A los ejercicios prácticos para el desarrollo de la conciencia fonológica se puede añadir *retroalimentación articulatoria*, haciendo consciente al niño de la posición de sus labios y lengua al pronunciar una letra. Esta técnica puede ser útil al inicio de la lectura especialmente para aquellos niños que presenten dificultades en integrar el sonido con el nombre de la letra; otras técnicas incluyen *utilizar colores* para diferentes códigos o letras; *resaltar la unidad relevante* para el estudiante; pedir que

preste mucha atención a una palabra que se muestra durante un espacio de tiempo breve y luego pedirle que nos diga las letras que ha visto y sus posiciones, por ejemplo ¿cuál fue la primera letra?, etc. Esta última técnica requiere que los niños mantengan la forma visual de una palabra en la memoria fonológica a corto plazo mientras que realizan juicios ortográficos que llaman la atención de las diferentes partes de una palabra. Para poder codificar la identidad de las letras y su posición en la forma ortográfica de una palabra, es necesario aplicar el principio alfabético, esto es, la correspondencia del fonema a cada una de las letras de una palabra.

La enseñanza de estrategias de *autorregulación* en la lectura es también necesaria. Como vimos anteriormente, los lóbulos frontales albergan las funciones ejecutivas y no están completamente mielinizados cuando el niño comienza a leer. De este modo, generalmente el cerebro del niño al empezar la lectura no puede autorregular este proceso por sí mismo. El inicio de la lectura va a requerir una considerable regulación externa, esto es, regulación del adulto, que puede facilitar al niño pistas explícitas de cómo aprender a leer, en forma de instrucción guiada o *andamiaje*. Una estrategia que puede mostrar a los niños cómo autorregularse al comienzo de la lectura es la enseñanza y aplicación del principio alfabético, que les ayudará a leer nuevas palabras por sí mismos. Esta estrategia despertará su atención y facilitará sus funciones de memoria y control ejecutivo.

Un proceso importante en la reorganización del cerebro lector es la creciente progresión de la regulación guiada por otros a la autorregulación. Un ejemplo de este paso de regulación a autorregulación es la *enseñanza recíproca* (Palincsar, 1986) en la que profesor modela los cuatro procesos de control ejecutivo necesarios para comprender el texto: resumen del texto, preguntas y respuestas, buscar clarificación de una parte del texto y realizar predicciones sobre el texto. Para después intercambiar los roles de profesor-alumno y que un alumno pase a liderar este proceso. Esta aproximación de resolución de problemas cooperativa es una técnica en la que el profesor intercambia su rol de instructor con el alumno. Este tipo de estrategias pueden ser efectivas en la transición de la regulación por otros a la autorregulación.

Según el niño va avanzando en el aprendizaje de la lectura, es importante la práctica de la *lectura oral* hasta que llega a ser automática y fluida. El lector principiante utiliza inicialmente circuitos cerebrales en áreas frontales izquierdas implicadas en el reconocimiento de palabras, pero cuando el reconocimiento de palabras se hace automático, este proceso se transfiere probablemente a circuitos que implican el cerebelo. La lectura repetida de textos puede facilitar la automatización del reconocimiento de palabras (Santiuste y López-Escribano, 2005). Otra forma de aumentar la velocidad lectora es la práctica repetida de lectura de listas de palabras aisladas. También se podría aumentar la velocidad de presentación de palabras o textos, esto es posible con la utilización de ciertos programas de ordenador (López-Escribano, 2008). Estas prácticas llevan a un procesamiento más rápido y ayudan a superar limitaciones temporales en la memoria de trabajo.

Al final de primer curso, los niños que han desarrollado el aprendizaje de la lectura con normalidad pueden reconocer muchas palabras automáticamente. Sin embargo, no solamente la lectura de palabras tiene que llegar a ser automática, también los textos deben ser leídos automáticamente y con la prosodia adecuada. La fluidez en la lectura facilitará la comprensión, evitando sobrecargar la memoria de trabajo. Del mismo modo si el texto se comprende bien se leerá más rápido.

La fluidez hace que mejore la comprensión, pero la comprensión también hace que mejore la fluidez. Aquellos niños cuya velocidad de lectura de palabras y decodificación, es decir, precisión lectora, esté un año por detrás de lo que se espera para su curso, podrían presentar riesgo de dificultades lectoras, estos niños necesitan una atención individualizada para estimular los procesos lectores. En estos casos de retraso, suele ser contraproducente no pasarles de curso o esperar a que maduren, ya que el aprendizaje lector necesita una *instrucción explícita*. Nuestra experiencia con niños con dificultades lectoras nos ha mostrado que aquellos que han repetido curso no logran mejores resultados que otros que han conseguido mantenerse en su grado aunque sea con esfuerzo. Normalmente estos últimos han avanzado más y su autoestima es mejor.

Con el tiempo y según los alumnos avanzan en la lectura se debe promover la transición a la *lectura silenciosa*. La lectura oral toma más tiempo que la silenciosa y retarda la comprensión lectora. Una vez que el lector ha adquirido fluidez en la lectura oral, debe empezar a leer con su *voz interior*.

Si el cerebro no puede identificar las palabras escritas, es decir, transformar su ortográfica en representaciones fonológicas y semánticas eficientemente, la comprensión lectora resultará comprometida. En estos casos, el maestro debería facilitar *estrategias* que promuevan la *comprensión lectora* (Sánchez, García y González, 2007). Existen diferentes estrategias y métodos para mejorar la comprensión y el vocabulario en la lectura. Es importante que el maestro facilite instrucción explícita en la comprensión a nivel de palabras y frases. Tanto la conciencia morfológica como la sintáctica son fundamentales para la comprensión lectora. La instrucción sistemática en vocabulario también es necesaria. Existen diferentes estrategias y programas para la enseñanza del vocabulario: exposición a una gran variedad de textos, instrucción específica en nuevas palabras relativas a conceptos nuevos, instrucción explícita en estrategias de aprendizaje del significado de palabras utilizando el contexto para inferirlas, buscar en el diccionario y crear conciencia de las palabras a través de una disposición cognitiva y afectiva favorable a las palabras. A nivel de discurso el cerebro en desarrollo se beneficia de la instrucción explícita de estrategias para extraer el contenido y la estructura del texto. Tanto los resúmenes escritos como las discusiones cooperativas siguiendo a la lectura silenciosa contribuyen a conseguir este objetivo.

La investigación que utiliza neuroimagen y que monitoriza las ondas eléctricas que el cerebro produce apoya también la conexión entre *emoción y aprendizaje*. Como hemos visto anteriormente, el sistema límbico es el encargado de mantener el interés, la motivación y la disposición emocional hacia cualquier actividad. La amígdala, una parte del sistema límbico (Figura 10), reacciona ante los estados de estrés bloqueando o retrasando la conducción de actividad eléctrica a través de los centros cognitivos superiores del cerebro. Según los estudios realizados por Pawlak (2003) cuando la amígdala detecta una situación de estrés, el resto de la corteza cerebral no muestra las típicas ondas de activación del cerebro que son detectadas a través de las técnicas TEP o fMRI descritas anteriormente. Éste y otros experimentos similares muestran que el aprendizaje superior solamente tiene lugar cuando el aprendiz disfruta con las actividades de aprendizaje y son significativas para él. Por tanto la investigación en neuroimagen apoya la idea de que las experiencias lectoras para ser significativas tienen que ser divertidas y relevantes para los estudiantes.

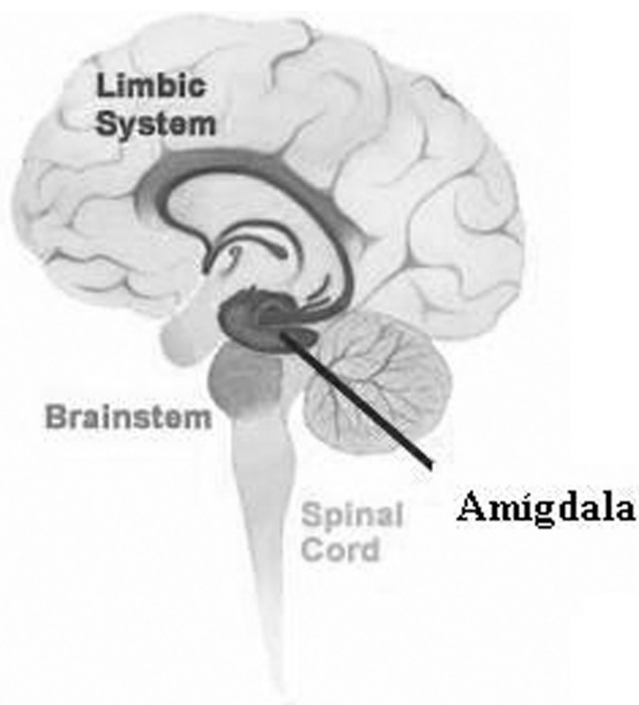


Figura 10. Sistema límbico y amígdala.

Fuente: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5c/Brain_limbsystem.jpg.

La investigación en educación ofrece también abundante literatura sobre cómo influye la emoción en el aprendizaje y propone que las emociones positivas fortalecen el aprendizaje mientras que la ansiedad y el estrés interfieren en el proceso de aprender. Los profesores conocen muy bien a través de la experiencia con sus alumnos en el aula que el estrés, aburrimiento, confusión, baja motivación y ansiedad dificultan el aprendizaje.

Por tanto, es importante inculcar un afecto positivo hacia la lectura. Si los alumnos están desmotivados o sienten que no son capaces, cualquier programa o estrategia para mejorar la lectura estarán condenados al fracaso. Por este motivo, hay que motivar positivamente a los estudiantes hacia la lectura, procurando que se produzca el sentimiento de éxito y de competencia intelectual. Este objetivo se consigue enfatizando el progreso de los alumnos, ofreciendo contenidos y materias intelectualmente estimulantes al nivel de desarrollo adecuado, creando un sentimiento de control sobre el proceso de aprendizaje, seleccionando material de lectura cercano a los intereses del alumno y fomentando el sentimiento de pertenencia a la comunidad de aprendices a través de actividades cooperativas de trabajo en grupo. No debemos olvidar que la emoción tiñe todo el aprendizaje humano, sin emoción positiva no hay aprendizaje, los experimentos en neurociencia también lo demuestran.

Además de las observaciones de carácter general, entre neurociencia y aprendizaje de la lectura, ofrecidas anteriormente, existen en la actualidad estudios de neuroimagen que han investigado la relación directa entre métodos educativos específicos para mejorar las dificultades de lectura y la activación cerebral que éstos producen en el cerebro del niño con dislexia. Se trata de estudios en los que se toman imágenes funcionales del cerebro de niños con dislexia, y después se les ofrece un tratamiento educativo intensivo. Posteriormente a la realización de este tratamiento se vuelven a tomar imágenes funcionales del cerebro de estos niños y se comparan con las realizadas antes del tratamiento. El objetivo es comprobar si este tratamiento produce un efecto *normalizador* en la activación de los circuitos cerebrales disfuncionales en la dislexia.

Cinco estudios de este tipo han sido publicados hasta la fecha. El primero (Simos *et al.*, 2002), realizado con niños y adolescentes de 7 a 17 años, concluye que la activación cerebral en la dislexia llega a normalizarse después de un tratamiento educativo específico e intensivo de tipo fonológico.

El segundo (Temple *et al.*, 2003), realizado con niños de 8 a 12 años, estudia la relación entre la recepción de sonidos verbales y no-verbales y el procesamiento fonológico, esto es debido a que las autoras de este estudio creen que la dislexia se debe a un déficit de procesamiento auditivo rápido. Por lo tanto, el tratamiento, en esta investigación, está basado en la estimulación auditiva. Las conclusiones son que este tratamiento de tipo auditivo produce cambios fisiológicos en el cerebro y una mejora en el lenguaje oral y la lectura.

El tercero (Shaywitz *et al.*, 2004) pone de manifiesto que la intervención de tipo fonológico mejora el perfil cerebral disfuncional de un grupo de niños de 6 a 9 años con dificultades en la lectura.

El cuarto (Simos *et al.*, 2007), realizado con niños de 7 a 9 años que tienen dificultades lectoras persistentes, concluye que un tratamiento educativo que estimula el procesamiento fonológico y la decodificación mejora el perfil espaciotemporal de activación cerebral relacionado con la lectura.

Por último, el quinto estudio (Richards y Berninger, 2008), realizado con niños con dislexia y que utilizó un tratamiento intensivo basado en la instrucción explícita sobre conciencia lingüística, principio alfabético (asociación de grafema y fonema), decodificación, deletreo de palabras y por último un taller de escritura, concluyó que después de realizar este tratamiento educativo los niños con dislexia mostraban un perfil de activación cerebral muy similar al de los niños del grupo control que no padecían ninguna dificultad lectora.

Los resultados de estos estudios tienen implicaciones importantes para la educación ya que sugieren que los sistemas neurológicos de la lectura son plásticos y pueden ser modificados mediante la experiencia y la educación. Desde el punto de vista educativo las implicaciones son claras, la intervención parece desempeñar un rol significativo en el desarrollo de los sistemas neurológicos especializados en la lectura eficiente. Los programas con actividades basadas en el procesamiento fonológico han mostrado ser efectivos tanto en el ámbito educativo como clínico. Las dificultades de procesamiento fonológico pueden modificarse con este tipo de intervenciones educativas (López-Escribano, 2007a).

Podríamos resumir los conceptos fundamentales de la investigación basada en el cerebro y la enseñanza de la lectura en los siguientes principios: (1) existe una

variación normal entre los perfiles de los estudiantes; (2) importancia de la interacción herencia-ambiente; (3) el aprendizaje es un proceso que se desarrolla en el tiempo; (4) gran plasticidad del cerebro humano, que tiene un gran potencial para construir conexiones múltiples y rutas alternativas para aprender, ofreciendo la posibilidad al maestro de utilizar múltiples códigos y modos de presentar la información, de modo que alternativas diferentes de enseñanza pueden conseguir los mismos resultados; y (5) sistemas funcionales cerebrales con componentes interactivos y múltiples. Dada la complejidad del sistema nervioso y de los sistemas funcionales parece poco posible que haya una única explicación para una dificultad de aprendizaje y un único método educativo para resolverla.

VI. Conclusiones finales

¿Conocemos realmente las redes neuronales que sustentan la lectura? ¿O quizás estamos todavía muy lejos de entender cómo procesa nuestro cerebro la lectura?

¿Qué sabe el pez del océano en el que vive toda su vida? (*Albert Einstein*)

No cabe ninguna duda de que las técnicas de neuroimagen han revolucionado el estudio sobre cómo funciona el cerebro, sin embargo, estos estudios no están exentos de limitaciones.

En primer lugar, las tareas utilizadas durante estas investigaciones han sido en su mayoría tareas fonológicas, un componente importante de la lectura, pero no auténtica lectura. Posiblemente estos estudios no muestran otras áreas del cerebro igualmente activas durante la comprensión de textos. La investigación en neuroimagen ha producido mucha más información sobre el procesamiento fonológico y la lectura de palabras que sobre la comprensión de textos, objetivo final de la lectura.

En segundo lugar, los resultados obtenidos en estas investigaciones pueden diferir entre unos estudios y otros, debido a consideraciones metodológicas y estadísticas de la investigación llevada a cabo en cada laboratorio.

La tercera razón es que el laboratorio podría no ser el lugar más adecuado para probar una habilidad puesto que es un ambiente *artificial*.

Por último, los estudios post mórtem descritos anteriormente también son limitados, el banco de donantes de cerebros para la investigación es escaso. Además los estudios realizados hasta la fecha, utilizando esta técnica, disponían de poca información sobre los individuos cuyo cerebro fue analizado. Posiblemente estos individuos tenían una gran variedad de dificultades más que una dificultad exclusivamente en el área de la lectura. En estos estudios tampoco se realizaron análisis *control* de cerebros de niños sin ningún tipo de dificultad que también habían fallecido.

Por todos estos motivos, un solo estudio no puede justificar una estrategia de intervención educativa en el aula. Los informes sobre investigación cerebral suelen *sobresimplificarse* en la prensa popular, con el fin de atraer mayor número de lectores; y de ahí se originan mitos y muchos errores de concepto y de entendimiento sobre la ciencia.

No obstante, y a pesar de las limitaciones citadas, no cabe ninguna duda de que la investigación en neurociencia ha contribuido a nuestra comprensión del

procesamiento fonológico durante la lectura y de la intervención en dificultades lectoras. Los neurocientíficos han comenzado a evaluar la eficacia y los mecanismos de programas de intervención educativa y de este modo se podrían determinar la difusión y uso amplio de estos programas.

Pero, a pesar de todos estos avances significativos realizados en los últimos años en el estudio de la lectura y las dificultades lectoras con el uso de las técnicas de neuroimagen, está claro que el horizonte para llegar a comprender completamente el funcionamiento de los circuitos lectores queda todavía lejano. Sería un error prometer o esperar demasiado pronto. Si bien ya se dispone de algunas perspectivas y resultados valiosos, pasará todavía un tiempo antes de que los descubrimientos de la neurociencia se puedan aplicar con total seguridad a la educación.

Los nuevos descubrimientos abren caminos hacia una mayor colaboración entre educadores y neurocientíficos. Se necesitan más puentes entre la investigación básica en neurociencia y en educación y los mitos deben ser desterrados. Bruer (1997) fue uno de los primeros en poner de relieve la importancia de establecer puentes entre neurociencia y educación, en un provocativo artículo subtítulo «A bridge too far?» (¿Un puente demasiado lejos?) donde sugirió que los psicólogos cognitivos podrían ser los que establezcan los vínculos necesarios entre estos dos campos del saber humano. También puso de relieve que la neurociencia ha avanzado mucho sobre el conocimiento de las neuronas y la sinapsis, pero todavía no ha aprendido lo suficiente para guiar la práctica educativa de forma significativa.

Sin embargo, el potencial de los estudios de neurociencia para realizar claras contribuciones a la educación es excitante. La colaboración entre neurociencia y educación se hace cada día más necesaria. Posiblemente en un futuro estos estudios podrán ofrecer métodos precisos para la identificación temprana y el tratamiento adecuado de las necesidades educativas especiales.

Bibliografía

- BERNINGER, V. W. y RICHARDS, T. L. (2002) *Brain literacy for educators and psychologist*. San Diego: Elsevier.
- BRODMANN, K. (1909) *Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues*. Leipzig: J. A. Barth. Traducido por Laurence Garey como *Localization in the Cerebral Cortex*. London: Smith-Gordon, 1994; nueva edición, London: Imperial College Press, 1999.
- BRUER, J. T. (1997) Education and the brain: a bridge too far? *Educational Researcher*, 26 (8), 4-16.
- CAPLAN, D. (2004) Functional neuroimaging studies of written sentence comprehension. *Scientific Studies of Reading*, 8, 225-240.
- DÉJERINE, J. J. (1892) Contribution à l'étude anatomo-pathologique et clinique des différentes variétés de cécité verbale. *Mém. Soc. Biol.*, 4, 61.
- DRAKE, W. E. (1968) Clinical and pathological findings in a child with a developmental learning disability. *Journal of Learning Disabilities*, 1, 486-502.
- EDEN, G. F. y MOATS, L. (2002) The role of neuroscience in the remediation of students with dyslexia. *Nature Neuroscience Supplement*, 5, 1080-1084.
- GALABURDA, A. M.; SHERMAN, G. F.; ROSEN, G. D.; ABOIZ, F. y GESCHWIND, N. (1985) Developmental Dyslexia: four consecutive cases with cortical anomalies. *Annals of Neurology*, 18, 222-233.

- GESELL, A. (1926) Normal growth as a public health policy. *Public Health Nurse*, 18, 394-399.
 — (1928) *Infancy and Human Growth*. New York: Macmillan.
- GOSWAMI, U. (2004) Neuroscience, education and special education. *British Journal of Special Education*, 31 (4), 175-183.
- HARPER, L. (1960) *To kill a mocking bird [Matar a un ruiseñor]*. Library of Congress Catalog Card Number 60.7847.
- HUMPHREYS, P.; KAUFMANN, W. E. y GALABURDA, A. M. (1990) Developmental dyslexia in women: neuropathological findings in three patients. *Ann. Neurol.*, 28, 727-738.
- LIVINGSTONE, M. S.; ROSEN, G. D.; DRISLANE, E. W. y GALABURDA, A. M. (1991) Physiological and anatomical evidence for a magnocelular defect in developmental dyslexia. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 88 (18), 7943-7947.
- LÓPEZ HERRERIAS, J. A. (2005) *Educación para una cultura comunitaria. Por una identidad metamoderna*. Valencia: Nau llibres.
- LÓPEZ-ESCRIBANO, C. (2007a) Contribuciones de la neurociencia al diagnóstico y tratamiento educativo de la dislexia de desarrollo. *Revista de Neurología*, 44 (3), 173-180.
 — (2007b) Evaluation of the double-deficit hypothesis subtype classification of readers in Spanish. *Journal of Learning Disabilities*, 40 (4), 319-330.
 — (2008) Programa FLU-OR. Listas de palabras por ordenador para la mejora de la fluidez lectora y ortografía. En M. D. HURTADO y F. J. SOTO (coords.) *La igualdad de oportunidades en el mundo digital*. Murcia: Universidad Politécnica de Cartagena/Consejería de Educación, Ciencia e Investigación, 533-540.
- LÓPEZ-ESCRIBANO, C. y BELTRÁN, J. (en prensa) Early predictors of reading in three groups of native Spanish speakers: Spaniards, Gypsies, and Latin Americans. *The Spanish Journal of Psychology*.
- MANGUEL, A. (2007) Entrevista *El País*, 29/12/2007.
- MOATS, L. (2004) Relevance of neuroscience to effective education for students with reading and other learning disabilities. *Journal of Child Neurology*, 10, 840-845.
- PALINCSAR, A. (1986) The role of dialogue in scaffolded instruction. *Educational Psychologist*, 21, 73-98.
- PAWLAK, R.; MAGARINOS, A. M.; MELCHOR, J.; MCEWEN, B. y STRICKLAND, S. (2003) Tissue plasminogen activator in the amygdala is critical for stress-induced anxiety-like behavior. *Nature Neuroscience*, 6 (2), 168-174.
- PERFETTI, C. A. y BOLGER, D. J. (2004) The brain might read that way. *Scientific Studies of Reading*, 8 (3), 293-304.
- RICHARDS, T. L. y BERNINGER, V. W. (2008) Abnormal fMRI connectivity in children with dyslexia during a phoneme task: Before but not after treatment. *Journal of Neurolinguistics*, 21, 294-304.
- ROSEN, G. D. *et al.* (2001): Animal models of developmental dyslexia: Is there a link between neocortical malformations and defects in fast auditory processing? En M. WOLF (ed.) *Dyslexia, Fluency, and the Brain*. Timonium, MD: York, 129-157.
- SÁNCHEZ, E.; GARCÍA, J. R. y GONZÁLEZ, A. J. (2007) Can differences in the ability to recognize words cease to have an effect under certain reading conditions? *Journal of Learning Disabilities*, 40 (4), 29-306.
- SANTIUSTE, V. y LÓPEZ-ESCRIBANO, C. (2005) Nuevos aportes a la intervención en las dificultades de lectura. *Univ. Psychol*, 4 (1), 13-22.
- SHAYWITZ, B.; SHAYWITZ, S.; BLACHMAN, B.; PUGH, K. R.; FULBRIGHT, R.; SKUDLARSKI, P. *et al.* (2004) Development of left occipitotemporal systems for skilled reading in children after a phonologically-based intervention. *Biol. Psychiatry*, 55, 926-933.
- SIMOS, P. G.; FLETCHER, J. M.; BERGMAN, E.; BREIER, J. I.; FOORMAN, B. R.; CASTILLO, E. M. *et al.* (2002) Dyslexia-specific brain activation profile becomes normal following successful remedial training. *Neurology*, 58, 1203-1213.

- SIMOS, P. G.; FLETCHER, J. M.; SARKARI, S.; BILLINGSLEY-MARSHALL, R.; DENTON, C. A. y PAPANICOLAU, A. C. (2007) Intensive instruction affects brain magnetic activity associated with oral word reading in children with persistent reading disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 40 (4), 37-48.
- TEMPLE, E.; DEUTSCH, G. K.; POLDRACK, R. A.; MILLER, S. L.; TALLAL, P.; MERZENICH, M. *et al.* (2003) Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: evidence from functional MRI. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 100, 2860-2866.
- VELLUTINO, F. R. (1979) *Dyslexia: Theory and Research*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- WOLF, M. (2007) *Proust and the squid. The story and science of the reading brain*. New York: Haper Collins Publishers.